Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(Abteilungsvorsteher: Professor Dr. Adolf Kröncke)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Anwendbarkeit und Grenzen der Oberflächenhistologie (Replica-Methodik) an Zahnschliffen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Burkhardt
aus Meißen

1964

7922

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547601_0094

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(Abteilungsvorsteher: Professor Dr. Adolf Kröncke)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Anwendbarkeit und Grenzen der Oberflächenhistologie (Replica-Methodik) an Zahnschliffen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wolfgang Burkhardt
aus Meißen

1964

Dekan: Prof. Dr. H. HARMS
1. Berichterstatter: Prof. Dr. A. KRÖNCKE
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. E. FRÖHLICH

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Meinen Eltern

Meinen Lehrern

INHALTSÜBERSICHT

		Seite
I.	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
	1. Replica-Methodik bei der Untersuchung von Zahnoberflächen	3
	2. Replica-Methodik im Rahmen elektronenoptischer Untersuchungen	5
	3. Replica-Methodik zur Untersuchung geätzter Zahnschliffe	7
III.	MATERIAL UND METHODEN	9
	1. Untersuchungsmaterial	9
	2. Herstellung von mikroskopischen Dünnschliffen unentkalkter Zähne	9
	3. Replica-Methode	10
	a) Allgemeine Replica-Methode	10
	b) Spezielle Methodik mit Acetobutyratfolie (Triafol BN)	10
	c) Möglichkeit zur Herstellung von Abdrükken in Serienfolgen	13
	d) Verwandte Hilfsmittel	13
IV.	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	14
	1. Schmelz	14
	a) HUNTER-SCHREGER-Streifung	14
	b) Schmelzprismen	15
	c) RETZIUS-Streifen	16
	d) Büschelbilder und Lamellen im Schmelz	16
	e) Schmelzoberhäutchen	17
	f) Anhang: Anwendbarkeit der Triafol-Methode für experimentelle Untersuchungen im Schmelz	18

Seite

2. Dentin 18
a) Dentinkanälchen 18
b) OWEN'sche Konturlinien 19
c) Interglobulardentin und TOMES'sche Körnerschicht 20
d) Schmelz-Dentin-Grenze 20
e) Prädentin und Sekundärdentin 21

3. Zement 21
a) Schmelz-Zement-Grenze und Dentin-Zement-Grenze 21
b) Zellfreier Zement 22
c) Zellhaltiger Zement und Hyperplasien 22

4. Karies 22
a) Schmelzkaries 23
A. Strukturänderungen im Prismengefüge 23
B. Ausbreitung der Schmelzkaries entlang Zonen minderer Mineralisation und Hervortreten der RETZIUS-Streifung 24
b) Dentinkaries 24

5. Füllung 25
a) Amalgamfüllungen 26
b) Weitere Füllmaterialien 26

V. ZUSAMMENFASSUNG 27

VI. LITERATURVERZEICHNIS 29

BILDMATERIAL 34

Lebenslauf

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die histologische Untersuchung von Zahnhartsubstanzen erfaßt in entkalkten Präparaten lediglich Dentin und Wurzelzement. Der Zahnschmelz fällt bei der Entkalkung aus und kann nur durch spezielle Verfahren dargestellt werden. Hierfür ist es im allgemeinen notwendig, unentkalkte Zahnschliffe herzustellen, die man anschließend lichtmikroskopisch untersucht. Naturgemäß lassen sich derartige Präparate nicht beliebig dünn anfertigen. Vollständige, in allen Teilen erhaltene Zahnschliffe in 10 bis 30 µ Dicke gehören deshalb zu den Seltenheiten. In der Regel begnügt man sich mit einer Stärke von etwa 50 µ. Bei der lichtmikroskopischen Betrachtung treten aber verschiedene optische Effekte auf, deren Deutung nicht immer unproblematisch ist, und die zu verschiedenen Irrtümern und Fehlschlüssen geführt haben.

Die für die normale Histologie der Weichgewebe übliche und selbstverständliche Forderung, das interessierende Gebiet in Serienschnitten durchzumustern, läßt sich für Zahnschliffe nicht erfüllen. Auch wenn spezielle Schneidevorrichtungen angewandt werden, ist ein Substanzverlust in der Stärke der Sägescheibe unvermeidbar. Darüber hinaus lassen sich derartige Schnitte nicht von vornherein in der gewünschten geringen Stärke herstellen; sie müssen vielmehr von zunächst 150 bis 300 µ manuell oder mit Hilfe einer Maschine dünn geschliffen werden.

Auch bei der Untersuchung von Zahnhartsubstanzen gibt es aber zahlreiche Fragestellungen, die Serienschliffe voraussetzen. Als Beispiel darf hier die Schmelzkaries genannt werden, bei der es wichtig wäre, eine lückenlose Serie von Zustandsbildern in die Tiefe des Schliffpräparates hinein zu verfolgen.

Als Hilfsmittel bietet sich für diese Aufgabe die Herstellung von Oberflächenabdrücken an, die unabhängig von dem Schliffpräparat lichtmikroskopisch untersucht werden. Derartige Abdrücke mit Hilfe von Kolloidinfolien oder neuerdings auch mit industriell bereits vorgefertigten Acetobutyratfolien (Triafol) geben strukturelle Einzelheiten einer angeätzten Hartsubstanzoberfläche mit großer Genauigkeit wieder. Der Zahnschliff kann weiterhin um beliebige und meßbare Distanzen reduziert und das jeweils aktuelle Oberflächenbild stets erneut durch einen Folienabdruck festgehalten werden. Auf diese Weise ist es möglich, Serienbilder eines unentkalkten Präparates zu gewinnen.

Derartige Replica-Abdrücke von Zahnschliffen sind bereits verschiedentlich durchgeführt und beschrieben worden (vgl. Literaturübersicht). Serien von Bilderfolgen wurden bisher jedoch nur von WOLF, HEUSER und PANTKE hergestellt und neuerdings auch von FOSSE durchgeführt. Um die Anwendbarkeit dieser speziellen Methodik zu prüfen, ist es unerläßlich, die auf den Abdrücken sichtbaren Strukturen mit den lichtmikroskopischen Bildern von Zahnschliffen zu vergleichen, die Darstellbarkeit der wichtigsten histologischen Eigenheiten zu erläutern und die Grenzen dieser Methodik zu umreißen. In der vorliegenden Arbeit sollen deshalb die sich in Replica-Abdrücken abzeichnenden Strukturen der gesunden und der erkrankten Zahnhartsubstanzen beschrieben werden. Zugleich sind Fremdkörper wie z.B. Füllungen in Kavitäten oder Wurzelkanälen zu berücksichtigen.

II. LITERATURÜBERSICHT

Im Rahmen dieser Schrifttumsübersicht ist es nicht nötig, auf die Herstellung und histologische Deutung von Schliffen unentkalkter Zahnhartsubstanzen näher einzugehen. Es handelt sich hierbei um eine seit den Arbeiten von RETZIUS übliche Routinemethode, die Allgemeingut jedes speziellen Lehrbuches ist. Oberflächenabdrücke wurden dagegen erstmals offenbar von WOLF (1939) angewandt. Der weitaus größte Teil dieser in den folgenden Jahren recht verbreiteten Untersuchungen bezog sich auf die Darstellung der unversehrten oder veränderten Zahnoberfläche. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Oberflächenabdrücke eröffnete sich mit der Vervollkommnung elektronenoptischer Untersuchungen von Zahnhartsubstanzen. Schließlich sind die für die vorliegende Arbeit besonders wichtigen Veröffentlichungen über die Anwendung der Replica-Methodik auf Zahnschliffen darzustellen.

1. REPLICA-METHODIK BEI DER UNTERSUCHUNG VON ZAHNOBERFLÄCHEN

Hier sind vor allem die Arbeiten der Marburger Klinik zu nennen. Mit Hilfe der Replica-Methode wies PANTKE (1959) nach, daß die Perikymatien die Endigungen der Retziusstreifen an der Zahnoberfläche darstellen. Er zeigte, daß die Perikymatien durchaus nicht gleichmäßig über die gesamte Zahnoberfläche verteilt sind, sondern daß sie im zervikalen Bereich glatt aussehen, während occlusal kleine Vertiefungen sichtbar sind. Diese werden durch die Endigungen der Schmelzprismen hervorgerufen. Das Schmelzoberhäutchen (SOH) wird als die letzte Bildung der Ameloblasten angesehen. Da die Genese der Retziusstreifen im allgemeinen (MEYER, 1951), aber keineswegs unwidersprochen (A.G. GUSTAFSON, 1959), auf eine veränderte Aktivität der Ameloblasten zurückgeführt wird, ist es erklärlich, daß auch die unterschiedliche Ausbildung der NASMYTH'schen Membran damit in Zusammenhang gebracht wird. PANTKE zeigte dies mit einigen typischen Bildern. Auch bei Milchzähnen sind Perikymatien sichtbar. HEUSER und PANTKE (1961) verwandten die Replica-Methode bei oberflächenhistologischen Untersuchungen an 133 jungsteinzeitlichen Zähnen. Sie verglichen dieses Untersuchungsmaterial mit retinierten und noch nicht durchgebrochenen Zähnen von Menschen der heutigen Bevölkerung und kamen dabei zu dem Ergebnis, daß gleichermaßen reguläre und irreguläre Perikymatien, Schmelzhügelchen und -grübchen vorhanden

sind. Auch bei den 4000 Jahre alten Zähnen endigen die Schmelzprismen in Form von mehr oder weniger regelmäßigen Sechsecken auf der freien Schmelzoberfläche, und das SOH unterscheidet sich in seiner Ausbildung kaum von den heutigen Beobachtungen.

Mit Hilfe der Adhäsionsreliefmethode untersuchte HEUSER (1952) das Initialstadium der Karies und die chronische Karies. In Experimenten an extrahierten Zähnen, die z.T. angeschliffen und poliert, z.T. unbearbeitet waren, wies er nach, daß der Einwirkung von Säuren eine ganz entscheidende Bedeutung zukommt. Bearbeitete und unbearbeitete Schmelzbezirke zeigten unterschiedliche Reliefbilder. Der Grund dafür soll nach HEUSER's Auffassung darin liegen, daß 1. das SOH den Säuren einen stärkeren Widerstand entgegensetzte, und daß 2. die peripheren Schmelzschichten besser mineralisiert, d.h. widerstandsfähiger gegen die Einwirkung seien. Ebenso wird das Auftreten von Wabenformationen im schrägen Auflicht darauf zurückgeführt, daß die Kittsubstanz säureresistenter sei. KEIL (1958) stellte dies bei Untersuchungen von Dünnschliffen im polarisierten Licht ebenfalls fest. Replica-Abdrücke von Rauhigkeiten am Zahnhals, von kreidigen opaken Flecken an braunverfärbten, aber glatten Schmelzpartien zeigten ähnliche Reliefbilder wie die des Experimentes (typische Prismenzeichnung). HEUSER betrachtete dieses Freiligen von Prismenenden als das Initialstadium der Karies. Die Wellenbildung der Perikymatien gehe dabei verloren. Typisch für die chronische Karies seien Remineralisationsvorgänge, die in Form feinkörniger Kalkablagerungen auch im Replica-Abdruck sichtbar würden.

Im ersten und zweiten Teil seiner Arbeit (1940) ging der Entdecker der "Adhäsionsreliefmethode", WOLF, ebenfalls auf das unterschiedliche Schmelzoberflächenrelief ein und beschrieb wie schon vor ihm LEEUWENHOEK (1632-1723) und PREISWERK (1908) die Perikymatien. Er sprach nicht von Wellen, die den Zahn regelmäßig umgeben, sondern von ziegelförmig deckenden Schichten mit unregelmäßigen Rändern. Seiner Vorstellung nach hängt die Entstehung des Schmelzoberhäutchens (der NASMYTH'schen Membran) eng mit der Bildung der interprismatischen Substanz zusammen. Mit der Adhäsionsreliefmethode wies er nämlich nach, daß dort, wo wenig Substanz ausgeschieden wird, erhöhte interprismatische Leisten zu beobachten sind, während dort, wo viel Substanz abgelagert wird, diese über die Wabenstruktur der Schmelzprismen hinaus verschmilzt und Vorwölbungen bildet. Die Reliefpräparate sind also nach den Beobachtungen WOLFs so zu deuten, daß die NASMYTH'sche Membran keine neue Substanz sondern das letzte Produkt der dann zugrundegehenden Ameloblasten darstellt. Diese "hügelartigen Bildungen" gibt es in allen Größen: Bruchteil eines Prismenquerschnittes bis zum Übertreffen desselben und Zusammenfliessen; "im Überschuß und Mangel wechselnd bilden sie in horizontalen Zonen die

Perikymatien". WOLF betonte entschieden, daß es sich keinesfalls um Kalkablagerungen handele, diese ließen sich mit der Replica-Methode sicher bestimmen. In der Halsregion der Zähne wies WOLF noch eine sekundäre Membran nach, die aber so zart sei, daß sie sich der Zahnoberfläche anpaßt und nur an ihren defekten Rändern zu erkennen sei. Die Genese dieser Membran sei unklar, keinesfalls hänge diese mit dem SOH zusammen. Die NASMYTH'sche Membran bedecke den Zahn trotz Zähneputzens bis ins hohe Alter - außer den Abrasionsstellen. Im zweiten Teil der Arbeit (1940) ging WOLF auf feinste Kalkablagerungen und Zahnstein an der Oberfläche ein. Die Kalkglobuli wies er mit seiner Methode des Oberflächenabdrucks nach. Er bestimmte ihre Größe auf 0,6 - 1 µ.

2. REPLICA-METHODIK IM RAHMEN ELEKTRONEN-OPTISCHER UNTERSUCHUNGEN

Für Untersuchungen dieser Art hat die Replica-Methode mit all ihren Abarten (Colloidin- u. Folienabdrücke, direkte und indirekte Betrachtung durch Bedampfung mit Metalloxyden usw.) eine so große Bedeutung gewonnen, daß es unmöglich ist, an dieser Stelle einen umfassenden Überblick über alle Verfasser und ihre Forschungsergebnisse zu geben. Denn die Elektronenmikroskopie muß sich dieser Methode bedienen, da selbst die dünnstmöglichen Schliffe unentkalkter Hartsubstanzen für die Durchstrahlung mit Elektronen noch zu dick sind. Aus diesem Grunde nenne ich nur einige wenige Beispiele, zumal spezielle Methodik und Ergebnisse dieser elektronenoptischen Untersuchungen das Thema nicht unmittelbar berühren.

Einen Überblick über elektronenmikroskopische Arbeiten auf fast sämtlichen Gebieten dieser Untersuchungsart gab HELMCKE in seinem Atlas des Menschlichen Zahnes im elektronenmikroskopischen Bild, 1. Teil (1953). Er beschrieb darin einleitend die Methode und ihre Hilfsmittel. Dieser Atlas dürfte bisher das Standardwerk für sämtliche auf diesem Gebiet tätigen Forscher sein, denn fast alle weisen in ihren Arbeiten darauf hin. In einer weiteren Arbeit (1955) beschäftigte sich HELMCKE mit der Struktur des gesunden und erkrankten Zahnschmelzes. Aus seinen Untersuchungen geht hervor, daß der Schmelz nicht aus biologisch vorgeformten Strukturen bestehe (Schmelzprismen), sondern daß er nach ausschließlich chemisch mineralogischen Gesetzmäßigkeiten aufgebaut sei und so alle Anforderungen eines mechanisch günstigen Systems erfülle.

Während FRANK (1950) aufgrund elektronenmikroskopischer Untersuchungen das Vorhandensein der interprismatischen organischen Substanz bestätigte, widersprachen die Ergebnisse von LENZ (1956) und HÖHLING (1960) dieser Ansicht. Die beiden letzteren sind sich mit HELMCKE darin einig, daß die Apatitkristalle federartig angeordnet seien, und daß keine Prismenscheide oder interprismatische Substanz vorhanden sei, sondern daß dieselbe durch lichtmikroskopische Effekte vorgetäuscht werde (LENZ 1956). HÖHLING (1960) unterschied zwischen "sogenannten Schmelzprismen" und den echten Prismen der Hydroxylapatit-Kristalle. Er wies darauf hin, daß die Umrandung der Schmelzprismen lichtmikroskopisch wesentlich breiter sei als im elektronenmikroskopischen Bild. Dieser Saum verändere sich noch dazu beträchtlich bei geringer Veränderung der Höheneinstellung des Mikroskops. Diese beiden Tatsachen galten HÖHLING als Beweis für die Ansicht, daß Beugungserscheinungen die Ursache für die lichtmikroskopisch sichtbaren Prismenscheiden seien. Die Gestalt der Prismen sei hexagonal mit hexagonaler Pyramide. Dies ergebe eine günstige Verzahnung. In einer weiteren Arbeit (1961) bezeichnete HÖHLING diese "dunklen Säume" um die "Schmelzprismen" als Artefakte, die durch Hängenbleiben von Kristalliten an der Folie oder sogar durch Teile derselben hervorgerufen würden. Er untermauerte diese Ansicht durch Verwendung der Kohlehüllenmethode und stellte fest, daß das, was allgemein als "Schmelzprismen" bezeichnet würde, besser als "Räume der Ordnung" für Kristallite aufzufassen sei. Im Schmelzprismen-Grenzbereich träten Mikrolücken auf, diese begünstigten das Fortschreiten der Karies. Mit elektronenmikroskopischen Bildern zeigte HÖHLING die ersten Veränderungen bei der Schmelzkaries. Die Kristallite seien desorientiert und zum Teil angelöst.

Am Schluß der Übersicht über einige elektronenmikroskopische Untersuchungen auf der Grundlage von Replica-Abdrücken sei noch eine Arbeit von LENZ angeführt (1955). Er befaßte sich darin mit den kariösen Veränderungen im Dentin und stellte fest, daß auch die kariösen Odontoblastenfortsätze die gleiche Dicke wie die normalen besäßen. Eine Täuschung ergäbe sich durch zerstörte Grundsubstanz, die die Fortsätze dicker erscheinen ließe. Die Kristalle, die LENZ in den untergehenden Odontoblastenfortsätzen nachwies, deutete er als gelöste Kalksalze der Grundsubstanz in der tieferen Schicht des Dentins. Bakterien entdeckte der Verfasser nur in der oberen, stärker entkalkten und zerstörten Zone, nicht in den tieferen Schichten - wie es der heute bestehenden Lehrmeinung entspricht. LENZ bestätigte damit die Theorie MILLER's, die besagt, daß vor der Bakterieninvasion die Entkalkung erfolge. - Diese gedrängte Übersicht mag zeigen, daß die Wiedergabegenauigkeit der Oberflächenabdrücke weit in den elektronenoptischen Bereich hineinreicht und deshalb für lichtmikroskopische Studien wie in der vorliegenden Arbeit vollkommen ausreichen dürfte.

3. REPLICA-METHODIK ZUR UNTERSUCHUNG GEÄTZTER ZAHNSCHLIFFE

Auch im dritten Teil dieser Schrifttumsübersicht begegnen uns wieder die schon eingangs erwähnten Namen der Marburger Klinik und des Urhebers der Replica-Methode, WOLF. Im 2. und 3. Teil seiner 1940 veröffentlichten Arbeit ging WOLF auf Untersuchungen ein, die er mit Hilfe seiner Methode auf Zahnschliffen machte. Auf geätzter Schmelzoberfläche beobachtete er, daß die Schmelzprismen hervorragten und die interprismatische Kittsubstanz eingesunken sei. RETZIUS-Streifung träte erst nach längerer Anätzung durch Säuren in Erscheinung. Abdrücke von Prismen aus dem Entwicklungsstadium des Schmelzes ließen eine höckrige Oberfläche erkennen. WOLF widersprach damit der an sich einleuchtenden Ansicht FREIBERG's (1939), der die Arkadenform der Prismen folgendermaßen erklärte: Wenn ein Zahn geschliffen wird, brechen die schief zur Oberfläche verlaufenden Prismen senkrecht zu ihrem eigenen Verlauf ab. Sie ragen dann stufenförmig hervor. WOLF hingegen bewies (1942), daß die Oberfläche eines Schliffes nach dem Polieren völlig eben sei und erklärte die Arkadenform der Prismen dadurch, daß die Ameloblasten auf der Oberfläche der sich bildenden Prismen während der Zahnentwicklung verschoben würden. In seinen Arbeiten befaßte sich WOLF auch mit der durch Schleifen freigelegten Dentinoberfläche: Der Schmelzmantel sei funktionell richtig in die Dentinoberfläche eingebettet. WOLF beschrieb unregelmäßige Gruben bis 0,04 mm Durchmesser, die eine schräge Öffnung zur Krone hin aufweisen. Die durch Bruch freigelegte Dentinoberfläche sei nicht glatt, sondern sie zeige feine Höckerchen und Grübchen, die von ihm als kollagene Fibrillen der kalkhaltigen Interfibrillarsubstanz gedeutet wurden. Die Wände der eröffneten Dentinkanälchen zeigten eine homogene, nicht von Fibrillen durchsetzte Substanz. WOLF stellte in Frage, daß es sich hier um die sogenannte NEUMANN'sche Scheide handele.

HEUSER beschäftigte sich (1956) mit dem Größenausgleich der Schmelzprismen von der Dentinoberfläche zur Schmelzoberfläche. Er kam zu dem Ergebnis, daß derselbe durch eine Vergrößerung der Prismen von innen nach außen erfolge. Eine Spaltung und Aufgabelung der Prismen wurde von HEUSER verneint. Gemeinsam mit PANTKE und H. SCHMIDT ging derselbe Verfasser (1960) auf den Verlauf der Schmelzprismen näher ein. Es wurde eine radiäre Grundanordnung der Prismen im Zahnquerschliff festgestellt, womit die Verfasser mit LEHNER und PLENK (1936) und MEYER (1951) übereinstimmen. Die Ergebnisse der Marburger Klinik deckten sich im wesentlichen mit den Befunden MEYERs an Schliffpräparaten. Allerdings wurde abweichend von dessen Deutung festgestellt, daß ganz gerade verlaufende Prismen nur sehr selten

seien und sich in unregelmäßigen Tiefenabschnitten wiederholten, während das s-förmige Kurvenbild der Schmelzprismen in regelmäßigen Abständen spiegelbildlich wiederkehre.

Die HUNTER-SCHREGER'sche Streifung wurde als Ergebnis unterschiedlicher Lichtreflektion gedeutet, die dadurch entstehe, daß Prismenabschnitte in verschiedener Richtung verliefen. Das Replica zeigte aber, daß die Prismen im Längs- und Querschliff im Wechsel getroffen werden. Sie sei nicht völlig identisch mit den von PREISWERK genannten Para- und Diazonien, decke sich aber weitgehend damit. Nach Ansicht der Verfasser verläuft jedes Schmelzprisma für sich in einer Ebene, in welcher es eine deutliche Kurvenfigur beschreibt. Dem scheint FOSSE (1964) zu widersprechen. Er machte Beobachtungen an zwei Zähnen, deren Schmelzmantel er ablöste und durch Replica-Abdrücke dessen innere und äußere Oberfläche festhielt. Den Schmelzmantel schliff er planparallel, stellte ebenfalls Replicas her, deren Prismen er auszählte, statistisch auswertete und in Beziehung zur inneren und äußeren Oberfläche brachte. Das Ergebnis war ein Überwiegen der Prismenquerschliffe um 10,6 % bzw. 7,8 % an der inneren Schmelzoberfläche. Damit wäre gesagt, daß nicht jedes Schmelzprisma bis zur Oberfläche durchzieht.

Abschließend sei noch eine Arbeit erwähnt, in der HEUSER mit H.F.M. SCHMIDT (1962) der Frage nachging, wieweit die Widerstandsfähigkeit der Zahnhartsubstanzen gegenüber Säuren schwanke. Das SOH selbst sei gegenüber Einwirkungen verdünnter Säuren widerstandsfähig, vermöge aber den darunterliegenden Schmelz nicht zu schützen. Die Säuren drängen in die Tiefe zwischen die Prismen, lösen sie aus ihrem Verband, weshalb sie später am Abdruck hängen blieben. Stelle man dagegen Schliffe her und ätze deren Oberfläche, um ein Reliefbild zu erhalten, so geschähe dies nach Ansicht der Verfasser ohne Loslösung von Schmelzbestandteilen. MÜLLER und SCHAIT (1957) verglichen an Replicas die unterschiedliche Anätzbarkeit von Zahnschliffen mit Säuren oder Chelaten. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß z.B. die interprismatische Substanz des Schmelzes von Chelaten (EDTA) stärker herausgelöst würde und dadurch ein ausgeprägtes Reliefbild entstände.

Diese Schrifttumsübersicht läßt erkennen, daß die Replica-Methode bisher nur in sehr begrenzten und speziellen Fragestellungen zur Untersuchung von Zahnhartsubstanzschliffen angewandt worden ist. Dies begründet erneut die Aufgabe der vorliegenden Abhandlung, Leistungsfähigkeit und Grenzen der Reliefabdruckmethode zu untersuchen.

III. MATERIAL UND METHODEN

1. UNTERSUCHUNGSMATERIAL

Zur Untersuchung und Abdrucknahme wurden extrahierte Zähne nicht registrierter Herkunft verwandt, die bis zur Verarbeitung in 70 %igem Alkohol aufbewahrt wurden. Der Zerstörungsgrad der Zähne durch Karies war verschieden, teilweise waren auch Füllungen vorhanden.

2. HERSTELLUNG VON MIKROSKOPISCHEN DÜNNSCHLIFFEN UNENTKALKTER ZÄHNE

Ein technisches Problem für die Histologie der Zahnhartsubstanzen ist auch heute noch das der Dünnschliffe. Zwar gibt es viele Vorrichtungen und maschinelle Hilfsmittel, die es vermögen, Zähne in definierte Schliffe zu zerteilen (LEFKOWITZ (1941), JANSEN (1946, 1950), ATKINSON (1948), BÜTTNER (1956), WEINREB (1960), HALLÈN u. RÖCKERT (1960), SIEHL (1962)). Eine untere Grenze von 10 - 20 µ Schliffdicke wird aber kaum unterschritten, was außerdem sehr von der Art der Befestigung des Schliffes und von der Geschicklichkeit des Herstellers abhängt. Bei dem Versuch, dünner zu schleifen, springen Teile des Schmelzes oder von Füllungen heraus, die man z.B. auf ihren Randschluß untersuchen möchte.

Bei der von uns verwandten Zahnschliffmaschine (BÜTTNER, 1956) liegt die untere erreichbare Grenze bei etwa 100 µ. Für die meisten histologischen Untersuchungen sind aber diese Schliffe noch zu dick, außerdem ist es fast unmöglich, sie von vornherein planparallel herzustellen.

Es ist daher nötig, sie bis zu etwa 10 - 20 µ Dicke weiterhin planparallel und definiert herabzuschleifen. Verständlicherweise ist dies mit der Hand sehr schwierig, da sich die Schliffe in diesen mikroskopischen Bereichen leicht verkanten.
Der maschinell gewonnene Dickschliff wird auf einer Seite plangeschliffen und poliert (mit Elektrokorund DIN 400, 500, 2000, Fa. Naxos/Ffm., und Ca-Karbonat pro analysi (Schlämmkreide) oder Diaplast, Fa. Winter, Hbg.). Mit dieser Seite wird er auf einen gesäuberten Objektträger aufgebracht, mit Laceside*) befestigt und manuell oder maschinell bis zu etwa 10 µ Dicke

*) Fa. R. Stratmann, Salzgitter

abgeschliffen. Man muß darauf achten, daß Laceside nicht über 70 - 80°C erhitzt wird, da es sich sonst bräunlich verfärbt. Laceside besitzt denselben Brechungsindex wie Kanadabalsam (Eukitt). Dies hat den großen Vorteil, daß das Präparat nach dem Schleifen, Polieren und Säubern mit Eukitt unter einem Deckglas eingedeckt werden kann, ohne die Laceside-Klebeschicht zu entfernen.

Aus dieser Beschreibung geht zweierlei hervor:

1. Die Herstellung von Dünnschliffen ist außerordentlich umständlich und langwierig,
2. Serienschliffe lassen sich nur mit erheblichem Substanzverlust herstellen, vollständige Serien sind unter diesen methodischen Voraussetzungen nicht erreichbar.

3. REPLICA-METHODE

a) Allgemeines

Seit den Untersuchungen von WOLF (1939) bot sich die Gelegenheit, den Schwierigkeiten der Schliffpräparate aus dem Weg zu gehen, indem man für bestimmte Fragestellungen Oberflächenabdrücke (Replica) zu Hilfe nahm. Die zu untersuchende Fläche wurde plan geschliffen, poliert und mit einer Säure angeätzt. So entstand ein Mikrorelief, von dem mit einer Kollodiumfolie ein Abdruck gewonnen wurde (PANTKE, 1956). Dieser Abdruck kann direkt unter dem Mikroskop betrachtet werden. Für elektronenmikroskopische Untersuchungen (HÖHLING, LENZ, HELMCKE usw.) wird der Abdruck mit Metalloxyden bedampft, so daß ein sekundäres Positiv entsteht.

Die Replica-Methode (Adhäsionsreliefmethode) (WOLF, 1939) erlaubt es, von einer größeren Fläche einen Abdruck zu nehmen und so z.B. ganze, aufgeschliffene Zähne unter dem Mikroskop zu betrachten. Allerdings ist es nicht immer ganz einfach, die Folie unverletzt vom Objekt abzuziehen. In dieser Hinsicht wurden erhebliche Verbesserungen beschrieben (PANTKE, 1956).

b) Spezielle Methodik mit Acetobutyrat-Folie (Triafol BN)

Eine wesentliche Erleichterung scheint uns in der Anwendung einer von den Bayer-Werken (Leverkusen) unter dem Namen "Triafol BN" hergestellten Kunst-

stoff-Folie zu liegen, deren Handhabung sehr einfach ist und das Herstellen von Abdrücken auf wenige Minuten verkürzt. Die Folie besteht aus Acetobutyrat und wird in verschiedenen Stärken geliefert. Für die Abdrücke von Zahnhartsubstanzen eignen sich am besten die Folien der Stärke 0,03 mm.

Die Abdruckmethode ist nicht schwierig, sie erfordert jedoch einige Übung und etwas Erfahrung: Die Schliffe werden zunächst bis zu dem interessierenden Bereich grob vorgeschliffen (Elektrokorund, DIN 400, oder mit der von BÜTTNER angegebenen Schleifmaschine). Ist der zu untersuchende Bezirk ungefähr erreicht, so wird das Präparat mit der Schliffebene auf eine Glasplatte gelegt und mit einem handelsüblichen Klebewachs (Supradent-Wachs, Chem. Dental-Labor Oppermann-Schwedler Beuel a.Rh.) umgeben. Dabei soll das Wachs den Schliff in einem möglichst großen Bereich umlaufen, was sich aus drei Gründen bewährt:

1. Es wird auf diese Weise vermieden, daß sich die Abdruckfolie nach dem Anlösen und Trocknen am Rande des Schliffpräparates wellt. In diesem Fall ist es unmöglich, die Folie genügend eben zwischen Deckglas und Objektträger zu bringen und unter dem Mikroskop zu betrachten.
2. Das Klebewachs ist im Gegensatz z.B. zu Methacrylaten ein Material, das vom Methylacetat nur sehr langsam angelöst wird. Die Folie läßt sich unter diesen Umständen leicht wieder vom Objekt lösen.
3. Das Wachs hat eine so dichte Oberfläche und lagert sich dem Objekt so gut an, daß störende Luftblasen am Rand vermieden werden. Die riß- und porenfreie Oberfläche verhindert, daß in Unebenheiten der Schliffoberfläche verbliebenes grobes Schleifpulver die nachfolgende Politur durch Kratzer stört. (Luftblasen im Abdruck, die aus den Poren des Gipses stammen und Kratzer im Schliff, die aus verschleppten großen Schleifkörnern resultieren, sind die wesentlichen Nachteile, die bei der Umbettung des Präparates mit Gips auftreten.) Der in Wachs gut eingefaßte Schliff wird schließlich in Hartgips eingebettet und in einem kleinen Plastikkästchen gesockelt. Gips ist für diesen Zweck ein geeignetes und preiswertes Material. Es stört wegen des größeren Abstandes zum Zahnschliff nicht mehr.

Die Oberfläche des Schliffes wird jetzt auf ihre Umgebung abgestimmt, indem man zunächst mit grobem Karborund-Pulver (DIN 400) schleift. Ist die gesamte Oberfläche eben, so wechselt man das Pulver nach gründlichem Spülen gegen feineres (DIN 2000) und poliert schließlich mit reinem Calcium-Carbonat (Schlämmkreide). Der Schliff ist jetzt eben und glatt, darüberhinaus bei sorgfältigem Arbeiten frei von Kratzern.

Der so vorbereitete Schliff wird mit 1n - HCl 15 sec lang angeätzt. Längere Ätzzeiten sind zwecklos, bei kürzeren kommt die Struktur nicht so klar hervor. Sollen nur Füllungsränder untersucht werden, so kann man auf das Anätzen ganz verzichten. Nach HEUSER (1956) ist langes und zu starkes Anätzen schädlich für das Präparat, da die interprismatische Substanz des Schmelzes herausgelöst und somit das histologische Bild verfälscht wird.

Ist die Säure unter fließendem Wasser entfernt und der Schliff gut getrocknet worden, so kann der eigentliche Abdruck folgen. Mit einer Pipette werden einige Tropfen Methylacetat auf den Schliff gebracht. Dieses organische Lösungsmittel hat sich uns am besten bewährt. Aceton oder Essigsäuremethylester z.B. lösen die Folie zu stark und zu schnell. Um Blasen zu vermeiden, kippt man das Präparat zweckmäßig ein wenig über die Kante, so daß überschüssiges Methylacetat ablaufen kann. Mangel an Methylacetat ist gleichfalls zu vermeiden. Dann nämlich wird die Folie nicht genügend angelöst und ergibt keine exakten Abdrücke. Man erkennt dies daran, daß die Eigenstruktur der Folie (leichte Streifung) zum Vorschein kommt.

Ein passendes Stück der Folie wird mit der matten Schichtseite auf die mit Methylacetat befeuchtete Schlifffläche gelegt. Die Folie wellt sich sofort, wird aber mit zunehmendem Trocknen (nach etwa 3-4 min) auf dem ebenen Untergrund wieder glatt und behält lediglich am Rande einige Wellen, die nach dem Abziehen der Folie mit einer Schere entfernt werden können.

Störende Blasen lassen sich nicht immer vermeiden. Luft in den Dentinkanälchen oder in schlecht adaptierten Füllungen, in kariösen Defekten oder in den Randzonen von minderwertigen Füllungen läßt sich aus dem Präparat nicht entfernen. Stören diese Blasen, so kann der Abdruck wiederholt werden. Sie lassen sich in einigen Fällen je nach Art der Fragestellung weitgehend ausschalten, wenn man alle Unebenheiten vor dem Planschleifen sorgfältig mit Wachs ausgleicht.

Von einer Seite beginnend, läßt sich die Abdruckfolie vorsichtig ablösen. Überflüssige Randpartien werden beschnitten. Der so vorbereitete Abdruck wird auf einen gesäuberten Objektträger gelegt und mit einem Deckglas abgedeckt, das mit Tesafilm auf dem Objektträger befestigt wird. Der Abdruck kann jetzt unter dem Mikroskop betrachtet werden (s. unten).

Abdrücke lassen sich nicht beliebig oft wiederholen, da das Wachs durch mehrfaches Aufbringen von Methylacetat schließlich doch merkbar angelöst wird.

c) Möglichkeit zur Herstellung von Abdrücken in Serienfolgen

Mit besonderen apparativen Einrichtungen (KLAUS, 1964, SIEHL, 1962) kann man nun das Objekt in beliebigen und meßbaren Abständen herabschleifen. Der gesamte Vorgang der Abdrucknahme wiederholt sich und man ist mit relativ einfachen Mitteln in der Lage, kariöse Prozesse, Füllungen oder Strukturen in Serien zu rekonstruieren.

d) Verwandte Hilfsmittel

Die Triafol-Abdrücke wurden in einem Zeiss-Mikroskop mit verschiedenen Vergrößerungen betrachtet. Die Aufnahmen machten wir mit einer Edixa-Mat-Reflex und Mikroskopaufsatz. Die Reliefbilder treten deutlicher und plastischer hervor, wenn der Strahlengang des Lichtes durch Verstellen des Kondensors abgelenkt wird. Die Vergrößerungsmaßstäbe sind bei den Abbildungen angegeben.

IV. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Nachfolgend werden die auf Replica-Abdrücken erkennbaren histologischen Eigenarten der Zahnhartsubstanzen einschließlich Fremdkörpern (Füllungen) beschrieben und mit den Kenntnissen der Histologie der Zähne verglichen. Dabei leisten die Abbildungen in den Lehrbüchern und eigene Dünnschliffe vergleichsweise gute Hilfe. In besonderen Fällen wurden von demselben Präparat ein Replica und ein Dünnschliff hergestellt, um optische Täuschungsmöglichkeiten auszuschließen.

Aus einer großen Zahl von Präparaten und Mikrofotografien werden der gestellten Aufgabe entsprechend nur typische Einzelbeispiele wiedergegeben. Zur besseren Übersicht werden Ergebnisse und Diskussion für die einzelnen Hartsubstanzen systematisch getrennt. Als wesentliche pathologische Erscheinung wird die Karies berücksichtigt.

1. SCHMELZ

a) HUNTER-SCHREGER-Streifung

Auf Abdrücken von Längsschliffen durch eine Zahnkrone fällt bei einer geringeren Vergrößerung die HUNTER-SCHREGER'sche Streifung im Schmelz auf (seit PREISWERK 1908 Para- und Diazonien genannt) (Abb. 1). Dieses Bild ist von der Auflichtbetrachtung von Zahnschliffen wie auch von der mikroskopischen Betrachtung von Dünnschliffen bei durchfallendem Licht her gut bekannt und Allgemeingut der normalen Histologie des Zahnschmelzes. Es handelt sich hierbei, wie PREISWERK bereits beschrieb, um optische Effekte, die durch unterschiedlichen, gewundenen Verlauf der Schmelzprismen im inneren Drittel der Schmelzschicht zustande kommen. Identisch hiermit ist der bei stärkerer Vergrößerung erkennbare Befund auf Replica-Abdrücken (vgl. Abb. 2); in der wiedergegebenen Schliffoberfläche wechseln Zonen quer oder schräggeschnittener Schmelzprismen mit solchen Prismenbündeln ab, die im Längsverlauf getroffen sind.

Die HUNTER-SCHREGER'sche Streifung tritt auf Replica-Abdrücken erst nach gründlichem Anätzen der Schliffoberfläche (10 - 15 sec) hervor. Dieser Effekt läßt sich in Anlehnung an HEUSER und PANTKE dadurch erklären, daß Schmelzprismen und ihre Grenzen (Prismenscheiden) durch die Salzsäure unterschiedlich stark angeätzt werden, so daß erst dann typische Strukturen hervortreten.

Hiermit ist die z.Zt. noch nicht restlos abgeklärte Frage nach der Existenz einer interprismatischen Substanz im Zahnschmelz noch ohne weiteres beantwortet. Der Befund unterschiedlicher Anätzbarkeit steht nicht im Gegensatz zu neueren elektronenmikroskopischen Befunden (HELMCKE, 1955, HÖHLING, 1961, LENZ, 1956), nach denen ausgedehnte Züge interprismatischer, organischer Substanz nicht vorhanden und lediglich auf optische Effekte zurückzuführen seien. Die elektronenoptischen Untersuchungen zeigen nämlich, daß die innerhalb eines Prismenzuges gefiedert angeordneten Apatitkristalle an den Grenzen zu den benachbarten Prismen unregelmäßig gewinkelt aufeinandertreffen. Es erscheint daher möglich, daß diese Bezirke für Säuren einen locus minoris resistentiae bilden und aus diesem Grunde stärker angeätzt werden könnten als das Zentrum der Prismen. Andererseits sprechen die Deutungen FRANK's (1950) durchaus dafür, daß sich die Grenzen zwischen einzelnen Schmelzprismen auch durch vermehrte Grundsubstanz auszeichnen. Die Klärung dieser Frage wird der Elektronenmikroskopie überlassen bleiben müssen.

b) Schmelzprismen

Auf die Darstellbarkeit der Schmelzprismen wurde oben bereits eingegangen (Abb. 1 + 2). Sie treten nach Anätzung der Schliffoberfläche bereits bei etwa 100facher Vergrößerung hervor und bieten, dem Winkel zwischen Schliffebene und Prismenrichtung entsprechend, unterschiedliche Bilder.

Da die Schmelzprismen nicht gradlinig, sondern mehr oder weniger S-förmig gewunden von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Oberfläche verlaufen, werden in verschiedenen Abschnitten eines Oberflächenabdrucks unterschiedliche Prismenquerschnitte angetroffen. Dabei sind reine Quer- oder Längsschliffe durch Prismen Zufallserscheinungen (Abb. 2), während die in unterschiedlichem Winkel schräg getroffenen Prismen naturgemäß überwiegen (Abb. 2, 5, 12). Dadurch entsteht die oft beschriebene, in den Abbildungen gut erkennbare Arkadenform (Abb. 4, 10, 12). WOLF (1942) erklärte sie mit einer Verschiebung der Ameloblasten auf der schon gebildeten Prismensubstanz, während FREIBERG (1939) annahm, daß diese Erscheinung projektorisch bedingt sei. Er meinte, die Prismen brächen bei der Präparation der Schliffe senkrecht zu ihrem Verlauf ab und ergäben so dieses Bild. MEYER (1951) hingegen deutete die Arkadenform entschieden als Trugbild. Er fand heraus, daß die S-förmige Verwindung der Schmelzprismen (s. Literaturübersicht) beim menschlichen Zahn sehr viel schwächer ausgebildet sei als z.B. beim Hundezahn. Daher könne man die Schmelzprismen fast nie im Querschnitt treffen. Im Triafolabdruck erscheinen sie wie Dachziegel.

c) RETZIUS-Streifen

RETZIUS-Streifen sind nach unserer Erfahrung auf Triafolabdrücken nicht so häufig zu beobachten wie in Schliffpräparaten. Wenn sie auf dem Replica erscheinen (Abb. 1, 10, 13), liegt es nahe anzunehmen, daß es sich um Schmelzbereiche unterschiedlicher Mineralisation und Anätzbarkeit handelt, was der grundsätzlichen Deutung dieser Anlagerungslinien im Schmelz durch W. MEYER entspricht. In neuerer Zeit hat A.G. GUSTAFSON aber nachdrücklich darauf hingewiesen, daß ein großer Teil der im gesunden Schmelz histologisch erkennbaren RETZIUS-Linien durch Knicke im Verlauf der Prismen zustande kommen (sog. funktionelle RETZIUS-LINIEN). Je nach Winkelverhältnis zwischen Schliffläche und abgeknicktem Prismenverlauf muß es deshalb ein Zufall sein, daß solche funktionellen RETZIUS-Streifen auf dem Oberflächenabdruck in Erscheinung treten. Der Wahrscheinlichkeit entsprechend ist dieser Zufall selten zu erwarten.

Im Bereich einer Schmelzkaries (s. dort) treten auch auf dem Replica die RETZIUS-Streifen wie im mikroskopischen Bild eines Dünnschliffes etwas deutlicher hervor (vgl. Abb. 10 + 13). Dieser Befund ist mit der Histopathologie der Schmelzkaries identisch, wonach die Lösungs- und Umkristallisationsvorgänge durch die Anlagerungsschichten des Schmelzes beeinflußt und gelenkt werden. Unter diesen Umständen unterscheiden sich die als RETZIUS-Streifen imponierenden Bezirke von ihrer Umgebung durch unterschiedliche Mineralisation und Löslichkeit (G. GUSTAFSON, 1957). Im Experiment läßt sich also gewissermaßen die Kariestheorie MILLER's reproduzieren, indem man die Schliffe stärker anätzt. Nach mindestens 20 sec Ätzdauer erscheinen die RETZIUS-Streifen. Dies macht wahrscheinlich, daß die Säurewirkung bei beginnender Karies vor der Bakterieninvasion erfolgt.

d) Büschelbilder und Lamellen im Schmelz

Die oben bereits diskutierte Frage nach der interprismatischen, organischen Substanz im Schmelz taucht noch einmal bei der Deutung der Schmelzlamellen und Büschelbilder auf. Auch sie sind im Replica-Abdruck sehr seutlich zu erkennen (Abb. 4, 10, 12). Für diese beiden Abbildungen sind Vergleiche mit einem Dünnschliff (ca. 20 µ) besonders interessant, die dieselben Bereiche zeigen (Abb. 3, 11). Wir finden die Erscheinungen vorwiegend an quergeschliffenen Zähnen, vereinzelt aber auch in Längsschliffen. Anders als im Dünnschliff (Abb. 3, 11), wo sie durch optische Überlagerungen wirklich als "Büschel" imponieren, sehen sie im Triafolabdruck wie gewunden verlaufende Sprünge oder

Risse aus (Abb. 4). Wir hielten sie auch zunächst für Artefakte, bevor uns der Vergleich mit dem Dünnschliff desselben Präparates vorlag.

MEYER, der den Büschelbildern durch Beobachtungen an Dünnschliffen nachging, indem er ein Mikroskop mit nur sehr geringer Tiefenschärfe benutzte und so auch nur einzelne "Halme" aus dem Büschel darstellen konnte, erklärt sie als "Blätter minderverkalkter interprismatischer Substanz". Die Darstellbarkeit im Triafolabdruck nach Anätzung des Schliffes spricht ebenfalls für diese Ansicht. Optische Überlagerungen durch tiefere Schichten gibt es hier nicht. Es wird nur eine Ebene reproduziert.

Eine Abart der "Büschelbilder" sind die Schmelzlamellen. Auch sie werden im Triafolabdruck beobachtet. Sie ziehen von der Schmelz-Dentingrenze zur Schmelzoberfläche und stellen sich im Triafol-Abdruck ähnlich wie im Dünnschliff dar (Abb. 10-12). Am Rande sind sie leicht aufgefiedert. Auch ihre Darstellbarkeit im Replica läßt sich auf die stärkere Ätzbarkeit dieser Bezirke zurückführen. Dies entspricht durchaus der bisherigen Auffassung, daß es sich um bandartige Gebilde organischer Grundsubstanz handelt, die weniger als ihre Umgebung durch Einlagerung von Apatitkristallen mineralisiert sind.

e) Schmelzoberhäutchen

Dünnschliffe durch den Schmelz lassen an der Oberfläche gelegentlich eine strukturlose Grenzschicht erkennen, die mit dem Schmelz fest verhaftet ist und über beginnenden kariösen Defekten als verdickte Membran noch deutlicher in Erscheinung tritt (vgl. Abb. 11). Es handelt sich hierbei um das Schmelzoberhäutchen, das nach den Untersuchungen von SCHÜLE (1962) in genetischer Hinsicht aus der Adamantoblastencuticula, der Epithelcuticula und dem exogenen Schmelzoberhäutchen besteht. Diese Oberflächenschicht vorwiegend organischer Natur ist säureresistent und wird erst nach der Entmineralisierung des Schmelzes (z.B. durch Säuren) abgelöst. Deshalb dürfte dieses Schmelzoberhäutchen auch nach kurzfristiger Anätzung der Schliffoberfläche noch im Replica erkennbar sein. Es tritt als Grenzschicht ohne die für den Schmelz typischen Strukturen hervor (vgl. Abb. 10). Wie im Dünnschliff ist es über beginnenden kariösen Prozessen besser zu erkennen, weil es in diesen Abschnitten übereinstimmend mit den Beobachtungen von SCHÄFER (1964) verdickt ist.

f) Anhang. Anwendbarkeit der Triafol-Methode für experimentelle Untersuchungen im Schmelz

Hier soll an einem Beispiel gezeigt werden, daß Oberflächenabdrücke von Zahnschliffen bestimmte experimentelle Untersuchungen gestatten, die mit Schliffpräparaten bisher nicht möglich waren. Die Abb. 2 zeigt einen vergrösserten Ausschnit aus der HUNTER SCHREGER'schen Zone des Schmelzes, in der Vickers-Härteprüfungen in Beziehung zur Schmelzstruktur durchgeführt wurden. Die etwa 25 µ großen Eindrücke des Vickers-Diamanten sind deutlich zu erkennen. Das Replica erlaubt es, diese Eindrücke eindeutig den verschiedenen Bereichen quer- oder schräg- bzw. längsgeschnittener Schmelzprismen zuzuordnen und sie ggf. auch noch auf dem Abdruck zu vermessen.

Bei mikroskopischer Auflichtbetrachtung geben bestimmte Lichteffekte lediglich Hinweise über den jeweiligen Meßbereich, sie sind aber keineswegs irrtumsfrei. Die Betrachtung eines Dünn- oder Dickschliffes bei durchfallendem Licht läßt klare Schlußfolgerungen über die an der Schliffoberfläche vorhandene Struktur nicht mehr zur. Die Replica-Methodik ist deshalb für solche experimentellen Studien bevorzugt anzuwenden, bei denen es auf die Struktureigenheiten der Zahnhartsubstanzen an der untersuchten Oberfläche ankommt.

Methodisch ist für dieses Beispiel (Abb. 2) noch zu ergänzen, daß der Schliff vor der Vickers-Härteprüfung angeätzt werden muß. Andernfalls werden die pyramidenförmigen Eindrücke durch Ätzeffekte verwischt. Vergleichende Untersuchungen haben gezeigt, daß durch primäres Anätzen in qualitativer Beziehung gar keine und quantitativ nur so geringe Einflüsse auf das Ergebnis der Härtemessungen ausgeübt werden, daß sie innerhalb der methodischen Fehlergrenzen liegen und vernachlässigt werden dürfen (KRÖNCKE, nach pers. Mitt.).

2. DENTIN

a) Dentinkanälchen

Betrachtet man den Bereich des Dentins eines Triafolabdruckes im Übersichtsbild, so fallen im Längs- wie auch im Querschliff (Abb. 5 + 6) eines Zahnes dunkle und hellere Felder auf, die sich bei näherer Betrachtung als unregelmäßig verteilte Dentinkanälchen im Längs-, Quer- und Schrägschnitt erweisen. Rings um die Pulpa sind sie am dichtesten angeordnet, das Übersichtsbild erscheint dort entsprechend dunkler (Abb. 5).

Die Dentinkanälchen lassen sich in bestimmbaren Flächeneinheiten im Triafolabdruck gut auszählen. Man kann also auf diese Weise z.B. der Frage nachgehen, wieweit sich ihr Durchmesser und ihre Anzahl in Beziehung zum Lebensalter verändern (vgl. MEYER 1951, WANNENMACHER 1963).

Die von MEYER beschriebenen Aufgabelungen der Dentinkanälchen vor der SD-Grenze konnten wir im Triafolabdruck ebenfalls beobachten (Abb. 4). Allerdings sind sie nicht so deutlich sichtbar wie im Dünnschliff, und das Bild dieser morphologischen Eigenheiten weicht naturgemäß erheblich von der Darstellung im Dünnschliff ab (Abb. 3). Die Erklärung liegt darin, daß man im Dünnschliff nicht wie im Triafolabdruck nur eine Ebene betrachtet, sondern daß hier verschiedene Dentinkanälchen übereinanderprojiziert werden. Ihre Aufgabelungen können im Replica aber nur dort beobachtet werden, wo sie zufällig in der Schliffebene liegen.

Weitere Einzelheiten, wie z.B. der Inhalt der Dentinkanälchen (Odontoblastenfasern, NEUMANN'sche Scheide usw.) sind im Triafol-Abdruck nicht reproduzierbar, da es sich hier um organische Substanzen handelt. Im Bereich des Dentins können deshalb mit Hilfe von Oberflächenabdrücken nur Fragestellungen wie: Anzahl der Dentinkanälchen, ihr Durchmesser, Form und Verteilung eindeutig untersucht werden. Hierfür ist das Vorgehen (ggf. in definierten Schliffolgen) aber methodisch einfacher als bei entkalkten Präparaten.

b) OWEN'sche Konturlinien

Man könnte erwarten, daß im Replica eines Zahnes - vor allem im Längsschliff - die OWEN'schen Konturlinien ähnlich wie die RETZIUS-Streifen im Schmelz zu beobachten sind. Beide entstehen durch rhythmische Mineralisation der Zahnhartsubstanzen während der Entwicklungsperiode. Die OWEN'schen Konturlinien lassen sich aber nach unseren Beobachtungen nicht erfassen. Zur Erklärung lassen sich folgende Gründe anführen: 1) Auch im Schliff oder im entkalkten Präparat sieht man sie in der Regel nur als Folge sehr schwerer Mineralisationsstörungen (z.B. rachitische Hypoplasien). Im übrigen werden sie im Dentin durch nachträgliche Mineralisation weitgehend ausgeglichen. Würden minderminerälisierte Bereiche bestehen bleiben (diese entsprächen einer leichteren Anätzbarkeit), so müßten sie im Triafolabdruck erkennbar sein. 2) Das vorwiegend durch die Dentinkanälchen geprägte Bild des Dentins kann möglicherweise vorhandene Strukturunterschiede unterschiedlicher Mineralisation der Grundsubstanz überdecken. Hierfür sprechen z.B. Beobachtungen an Triafolabdrücken, die von ungenügend polierten oder aus anderen Gründen verkratzten Schliffoberflächen gemacht wurden. Im Bereich des relativ feinstruk-

turierten Schmelzes stören solche Kratzer sehr erheblich, während sie im Dentin wenig oder gar nicht ins Gewicht fallen.

c) Interglobulardentin und TOMES'sche Körnerschicht

Das von MEYER u.a. beschriebene Interglobulardentin und die TOMES'sche Körnerschicht im Wurzelbereich lassen sich im Triafolabdruck ebenfalls nicht charakteristisch darstellen. Nach Durchmusterung zahlreicher Abdrücke besteht zwar der Eindruck, daß es in diesen Bezirken weniger Dentinkanälchen gibt, und daß diese einen größeren Durchmesser aufweisen. Man findet jedoch keine klaren Abgrenzungen und Strukturunterschiede zum übrigen Dentin. Dies entspricht bezüglich der Deutung der oben diskutierten Frage nach den OWEN'schen Konturlinien. Ein an der globulären Zeichnung im Schliff oder im entkalkten Präparat mitunter noch erkennbares Relikt früherer Mineralisationsstörungen (Interglobulardentin) wird später offenbar soweit ausgeglichen, daß nach Anätzung keine Strukturunterschiede zum übrigen Dentin mehr hervortreten.

d) Schmelz-Dentingrenze

Die Schmelz-Dentingrenze ist in den Abdrücken überall - auch bei sehr starker Vergrößerung - gut verfolgbar. Im Vergleich zum Dünnschliff der gleichen Region (Abb. 3 + 4) fällt aber auf, daß die im Replica wiedergegebene SD-Grenze buchtenreicher und verzahnter aussieht als im Schliff. Auch dies muß wiederum als optischer Effekt bei der mikroskopischen Betrachtung eines Schliffpräparates gedeutet werden, bei dem sich Buchten und Verzahnungen von Schmel und Dentin durch die Dicke des Schliffes übereinanderprojizieren. Es resultiert so ein Bild der SD-Grenze, das aus der Summe zahlreicher, in verschiedenen Ebenen angeordneter und unterschiedlich verlaufender Grenzlinien entsteht.

Hierdurch läßt sich auch die weitere Feststellung erklären, daß die z.B. von MEYER beschriebenen "kolbenförmigen Fortsätze" der Dentinkanälchen im Seitenbereich der Krone oder die "einfachen Fortsätze der TOMES'schen Fasern" (im Bereich der Höckerspitzen) nicht im Replica beobachtet werden können. An keiner Stelle der SD-Grenze konnten wir diese organischen Elemente des Dentins im Schmelz erkennen (vgl. Abb. 4). Die SD-Grenze verläuft teils glatt, vorwiegend aber in der schon beschriebenen Verzahnung, die wir im Replica stets nur in einer Ebene, im Schliff aber durch Summation der Grenzlinien räumlich beobachten. Sehr wahrscheinlich handelt es sich daher bei den von MEYER beschriebenen, in den Schmelz hineinreichenden Odontoblastenfortsätzen

eher um Dentinkanälchen, die stets von Dentinzapfen umgeben sind (vgl. Abb. 4).

e) Prädentin und Sekundärtentin

Das Prädentin tritt im Triafolabdruck nicht hervor. Dagegen ist das Sekundärdentin (Abb. 6), das seit REICH (1906) in drei Ordnungen eingeteilt wird, wieder gut darstellbar. Obwohl es fließende Übergänge zwischen den einzelnen Abstufungen unterschiedlicher Irregularität gibt, erkennt man in der Regel deutliche Abgrenzungen. Im Übersichtsbild scheint das Sekundärdentin wie eine Kappe über dem Pulpahorn zu sitzen. Bei stärkerer Vergrößerung tritt der von REICH beschriebene irreguläre Verlauf der Dentinkanälchen deutlich hervor. Das Reliefbild des Triafolabdruckes unterscheidet sich in keiner Weise von den gewohnten histologischen Bildern.

3. ZEMENT

a) Schmelz-Zement-Grenze und Dentin-Zement-Grenze

Auch zur Darstellung des Wurzelzementes eignet sich die Replica-Methode gut (vgl. Abb. 7-9). Die Verhältnisse an der Schmelz-Zement-Grenze lassen sich exakt beobachten. Man könnte deshalb mit dieser Methode zum Beispiel der Frage nachgehen, wie sich der Schmelz dem Zement anlagert, weil im Gegensatz zu entkalkten Schnitten hier alle wichtigen Hartsubstanzen in vollem Umfange erhalten bleiben.

Im übrigen entsprechen die oberflächenhistologischen Bilder der Schmelz-Zement-Grenze und auch der Dentin-Zement-Grenze den aus der normalen Histologie der Zahnhartsubstanzen bekannten Tatsachen. So erreicht die Zementbedeckung des Wurzeldentins in vielen Fällen den zervikalen Schmelzansatz (Abb. 7), in anderen bleibt eine unbedeckte Dentinfläche frei oder die Zementschicht reicht bis auf die Schmelzoberfläche hinauf (vgl. MEYER).

Die Dentin-Zementgrenze verläuft im oberflächenhistologischen Bild glatt und gradlinig. Im Gegensatz zur Schmelz-Dentin-Grenze finden sich keine Buchten und Zapfen, die beide Hartsubstanzen miteinander verzahnen (vgl. Abb. 7-9).

b) Zellfreier Zement

Zellfreier und zellhaltiger Wurzelzement lassen sich im Replica ohne weiteres unterscheiden. Die Dicke des Zementes kann man in den einzelnen Wurzelbereichen - auch interradikulär - gut beobachten und ggf. messen. Der zellfreie Zement war bei unseren Präparaten ziemlich gleichmäßig dick ausgeprägt. Er liegt dem Dentin dicht an. Der Übergang zum zellhaltigen Zement ist durch eine deutliche Grenzlinie erkennbar. Bei stärkerer Vergrößerung sieht man die Fibrillen der Grundsubstanz in ungleichmäßiger Anordnung (Abb. 8), wie dies unserer Kenntnis der in verschiedener Richtung einstrahlenden SHARPEY'schen Fasern entspricht.

c) Zellhaltiger Zement und Hyperplasien

Im Gegensatz zum zellfreien Zement ist die Schicht des zellhaltigen ungleichmäßig dick (Abb. 8). Gelegentlich beobachtet man Hyperplasien oder Zementikel (Abb. 9). Bei stärkerer Vergrößerung lassen sich vereinzelt die Höhlen erkennen, in denen die Zementzellen eingebettet waren. Diese sehen wie im entkalkten Schnitt teils spindelig, teils halbmondförmig aus (Abb. 8). Insgesamt sind sie aber im Replica nicht so häufig zu finden, wie man es von der mikroskopischen Betrachtung entkalkter Präparate gewohnt ist. Dies läßt sich wiederum zwanglos dadurch erklären, daß im Replica nur die in der Schliffebene eröffneten Zementzellenhöhlen erscheinen können, während im durchsichtigen, in der Regel etwa 20 µ dicken entkalkten Zahnschnitt Zementzellen aus verschiedenen Ebenen ein gemeinsames Bild ergeben.

Im ganzen befriedigen aber oberflächenhistologische Betrachtungen zellhaltigen Zementes zur Beobachtung seiner Struktur nur wenig. Für Untersuchungen der Zementzellen oder ihrer Höhlen dürften deshalb entkalkte Präparate stets vorzuziehen sein.

4. KARIES

Die Darstellung kariöser Defekte mit der Triafolmethode gelingt nicht in vollem Umfange. Größere Läsionen mit Substanzverlust - so z.B. die Zone der Erweichung - sind im Abdruck nicht reproduzierbar. Es brechen Teile aus dem Schliff heraus und geben scharfe Bruchkanten. An diesen bleibt die Folie leicht hängen, so daß der Abdruck beim Abziehen zerstört wird.

Im Kapitel IIIc wurde schon erwähnt, daß die Oberfläche des Schliffes vollständig eben sein muß. Es ergibt sich daraus die Forderung, stark erweichte Substanz vor dem Abdruck zu entfernen und den Defekt mit Wachs auszufüllen. Nur auf diese Weise ist es möglich, ebene Abdruckflächen zu erhalten. Abdrücke auf dieser methodischen Basis gestatten es, beispielsweise die Randzonen der Karies und ihre Begrenzung, unterminierende kariöse Prozesse oder Sekundärkaries an Füllungsrändern zu beobachten. Naturgemäß lassen sich nur strukturierte Zahnhartsubstanzen darstellen. Ihre Anätzbarkeit ist in kariös veränderten Bereichen anders als im gesunden Gebiet. Auch lassen sich wertvolle Schlüsse aus dem Vergleich mit anderen histologischen Präparationsmethoden der Zahnhartsubstanzen ziehen.

a) Schmelzkaries

Im Dünnschliff und im Triafolabdruck eines quergeschliffenen Zahnes (Abb. 10 + 11) erkennt man am äußersten Rande der beginnenden Schmelzkaries das unterschiedlich dicke, aber noch unzerstörte Schmelzoberhäutchen (vgl. 1 e). Wir können hiermit die Ansicht einiger Verfasser unterstützen (HEUSER u. SCHMIDT, 1962, MEYER, 1958, SCHÄFER, 1964, WANNENMACHER, 1963), daß das Schmelzoberhäutchen nicht gleich zu Beginn einer kariösen Veränderung im Schmelz zerstört wird. WANNENMACHER u. SCHÄFER sprechen von einer Aufquellung desselben; auch MEYER stellt fest, das SOH werde nach den ersten strukturellen Mineralisationsänderungen im Schmelz von proteolytischen Bakterien zerstört.

A. Strukturänderungen im Prismengefüge

Im Dünnschliff wie im Replica ist der kariöse Bereich durch eine deutliche Abgrenzung vom gesunden Schmelz zu unterscheiden (Abb. 10-13). Während im gesunden Schmelz das gewohnte Bild vorherrscht (Arkadenform der Prismen, Para- und Diazonien), sind im kariös veränderten Schmelz Änderungen der Prismenanordnung eingetreten. Die besonders im Replica gut erkennbare Auflösung der Struktur und die weniger deutliche Abgrenzbarkeit der Prismen (Abb. 12) sind als bildhafter Ausdruck für die ersten Lösungs- und Umkristallisationsprozesse im Schmelz aufzufassen. Sie könnten durch Einwirkung von Säuren entstanden sein und stellen sich im Replica wegen ihrer veränderten und im allgemeinen leichteren Anätzbarkeit deutlich dar. Stellenweise geht die Prismenstruktur vollständig verloren (Abb. 12). Es resultiert ein weitgehend strukturloser, amorpher Schmelzbereich, in dem die ehemaligen Bausteine nur noch gelegentlich und andeutungsweise zu vermuten sind. Dieses Stadium der kariös bedingten Schmelzveränderungen ist in den Randbezirken

eines Prozesses zu beobachten und geht der eigentlichen Defektbildung voraus.

B. Ausbreitung der Schmelzkaries entlang Zonen minderer Mineralisation und Hervortreten der RETZIUS-Streifung

Der Triafolabdruck von Längsschliffen zeigt grundsätzlich dasselbe Bild (vgl. Abb. 13). Wie aus der Histopathologie der Schmelzkaries gut bekannt (W. MEYER, G. GUSTAFSON) ist auch auf dem Replica zu erkennen, daß die Schmelzkaries in ihrer Ausbreitung durch die Anlagerungsschichten (RETZIUS-Streifen, die im Bereich der Schmelzkaries gut hervortreten) gelenkt wird und so ein keilförmiges, nach zervikal geneigtes Bild ergibt. Auch im Bereich der Para- und Diazonien bleiben Gebiete unterschiedlicher Anätzbarkeit trotz fortschreitender Karies bestehen, so daß die HUNTER-SCHREGER-Streifung im Replica stärker hervortritt (vgl. Abb. 13).

An der Innenseite des kariösen Prozesses ist im Replica oft eine hellere Zone zu erkennen (Abb. 13). Den Deutungen von G. GUSTAFSON entsprechend dürfte es sich hier um eine Zone der Ausfällung von Kalksalzen handeln, was im Abdruckbild zu einem Gebiet geringerer Anätzbarkeit und damit zu einer Transparenz der Folie führt. Diese periphere Zone der Ausfällung von Kalksalzen konnte auch durch Mikrohärtemessungen nachgewiesen werden (BALLE, 1962). Dagegen stellt sich eine zweite, zum Defekt hin gelegene, von G. GUSTAFSON polarisationsoptisch beobachtete Zone weder im Replica noch durch Mikrohärteprüfungen dar. Damit sind diese Befunde von GUSTAFSON keineswegs widerlegt. Sollte es sich bei dieser zweiten inneren Zone nach seiner Deutung tatsächlich um eine defektwärts gelegene Zone der Ausfällung von Kalksalzen handeln, so läßt sich nach den Replica-Abdrücken lediglich feststellen, daß diese Vorgänge jedenfalls nicht zu unterschiedlicher Anätzbarkeit im Vergleich zum umgebenden kariösen Schmelzgewebe führen. Weitere Deutungen erscheinen nicht statthaft.

b) Dentinkaries

Zur Darstellung der Dentinkaries eignet sich die Triafolmethode nur wenig. Wir vermögen mit der Replica-Technik nur Einzelheiten im kariösen Dentin nachzuweisen, die im Bereich noch mineralisierter Substanz liegen. Wie schon in den Kapiteln über die Darstellung des Dentins erwähnt wurde, gelingt es nicht, Veränderungen der Dentingrundsubstanz zu zeigen (OWEN'sche Linien, Interglobulardentin usw.). So kann man auch nicht erwarten, daß sich pathologische Einzelheiten der Grundsubstanz im Triafol-Abdruck darstellen.

Man erkennt im Übersichtsbild (Abb. 6) die Ausbreitungsform des kariösen Prozesses an der Dunkelfärbung des Replicas. Allerdings sieht man diese Erscheinung im Dünnschliff deutlicher, weil das affizierte Dentin durch das goldgelbe Pigment der Mirkoorganismen gefärbt ist. Das Hervortreten der Ausbreitungsrichtung ist in der Erweiterung der Dentinkanälchen begründet, deren Relief - vor allem nach 15 sec Ätzzeit - sehr gut im Abdruck sichtbar wird (Abb. 14). Wie MEYER nachwies (1958), ist die Dentingrundsubstanz im kariösen Bereich entkalkt. Er brachte Vergleiche mit Röntgenbildern von Dünnschliffen. Die Entmineralisierung geht von den Dentinkanälchen aus, die z.T. ampullenförmig erweitert sind, wie auch im Triafol-Abdruck gut gezeigt werden kann. Die sie umgebende Grundsubstanz ist aber im darstellbaren Bereich noch mineralisiert. Dort, wo die Grundsubstanz erweicht ist u. wo die Dentinkanälchen schon Cavernen bilden, versagt die Replica-Methodik aus angeführten Gründen. Ebenso ist eine Ausbreitung der Karies im Interglobulardentin nicht zu beobachten, da sich dieses selbst nicht darstellt (s. 2 c). Wir beobachten lediglich unterminierende kariöse Prozesse in diesem Bereich und können so rückwirkend auf einen stärkeren Befall des Interglobulardentins schließen, da aus der Histopathologie bekannt ist, daß dieser Bereich von vornherein mindermineralisiert ist.

Die von G. GUSTAFSON (1957) beschriebenen Zonen lassen sich im Triafolabdruck nicht unterscheiden, was entweder wieder dafür spricht, daß das Bild von der kräftigen Struktur der Dentinkanälchen überdeckt wird, oder daß keine strukturellen Unterschiede hervortreten.

Zum Bild der Dentinkaries gehört die mehr oder weniger ausgeprägte Bildung von Sekundärdentin (Abb. 6), auf dessen Darstellbarkeit bereits hingewiesen wurde (s. 2c).

5. FÜLLUNGEN

Eine gute Anwendungsmöglichkeit der Replica-Methode bietet sich bei der Untersuchung von Füllmaterialien aller Art in bezug auf ihre Dichte und Randbeständigkeit an. Dies soll an einigen Beispielen erläutert werden.

Die Triafol-Abdrücke der abgebildeten Amalgamfüllung wurden von extrahierten, nicht besonders registrierten Zähnen genommen, während wir die Wurzelfüllungen an extrahierten Zähnen in der Hand vornahmen.

Zur Methodik der Triafolabdrücke von Füllungen ist zu sagen, daß es hier-

bei nicht so sehr auf das Anätzen des Schliffes ankommt, weil sich das Relief des Füllungsmaterials stets auch so darstellt. Man kann darauf sogar ganz verzichten, allerdings bleiben die umgebenden Zahnhartsubstanzen dann fast strukturlos.

a) Amalgamfüllungen

Abb. 15 zeigt einen Querschliff durch eine mit einer Amalgamfüllung versorgte Kavität. Im Replica stellt sich das Amalgam gut dar. Man erkennt deutlich die verschiedenen Kondensationsschichten, die durch das Stopfen in mehreren Portionen und ungenügendes Kondensieren entstehen. Dichte und Porosität des Materials sind dadurch unterschiedlich. Im Abdruck auftretende Luftblasen entstehen dadurch leicht und lassen sich kaum vermeiden.

Es ist weiterhin an diesem Beispiel der Abb. 15 zu erkennen, daß der Randschluß des Amalgams im Schmelzbereich gut ist, während es zum Dentin einen bemerkenswert breiten Randspalt aufweist. Deutlich erkennbar ist die Zementunterfüllung an ihrer Porosität. Sie liegt dem Kavitätenboden dicht an.

b) Weitere Füllmaterialien

Ähnliche Untersuchungen in bezug auf Randschluß oder Dichte lassen sich naturgemäß mit allen schon bekannten oder neu auf den Markt kommenden Materialien anstellen. Wir wollen aus der großen Anzahl von Beispielen an dieser Stelle nur 2 Arten von Wurzelfüllungen anführen, deren Abdrücke von Modellversuchen stammen. Abb. 16 zeigt einen Längsschliff durch einen Wurzelkanal, der mit einem REHRMANN-Normbesteck aufbereitet und mit einem Silberstift und Phosphatzement gefüllt wurde. Der Schliff wurde 15 sec angeätzt. Man erkennt, wie dicht der Stift dem Wurzelkanal anliegt und wie dünn die Zementschicht ist, mit der er zusätzlich befestigt wird.

Im Gegensatz hierzu zeigt Abb. 17 den Triafolabdruck eines Wurzelkanals, der mit Riebler-Wurzelfüllmasse und einer Guttaperchaspitze gefüllt ist. Die Riebler-Masse ist gut wandständig und hat sich nach 8 Tagen Abbindezeit nicht kontrahiert. Sie weist Blasen auf. Der Schliff wurde angeätzt. Die Aufbereitung des Kanals erfolgte in der Hand mit Kerr-Räumern und Hedströmfeilen, das Einbringen der Wurzelfüllmasse mit dem Lentulo.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine Replica-Methode unter Verwendung einer von den Bayer-Werken (Leverkusen) hergestellten Acetobutyratfolie (Triafol BN) beschrieben. Sie ermöglicht innerhalb weniger Minuten die Anfertigung mikroskopierbarer Abdrücke von polierten und angeätzten Zahnschliffen. Bei leicht abgelenktem Strahlengang des Mikroskopes kommt das abgedrückte Relief deutlich zum Ausdruck. Es besteht die Möglichkeit, mit Hilfe apparativer Hilfsmittel Bilder in definierbaren Serienfolgen herzustellen.

Die Deutung von histologischen Bildern der Zahnhartgewebe wird erleichtert, weil - im Gegensatz zum Dünnschliff - nur eine Ebene abgebildet wird. Die Untersuchung der Anwendbarkeit und Deutung derartiger oberflächenhistologischer Bilder führte zu folgenden Feststellungen:

1. Nach den vorliegenden Untersuchungen scheint die Triafol-Methode am besten zur Darstellung der Schmelzstruktur verwendbar zu sein. Man erkennt Para- und Diazonien, Schmelzprismen im Längs-, Quer- und Schrägschliff (Arkadenform), RETZIUS-Streifung, Büschelbilder des Schmelzes, Schmelzlamellen und das Schmelzoberhäutchen. Auch für bestimmte experimentelle Fragestellungen kann die Folie wertvolle Hilfe leisten (z.B. VICKERS-Härteprüfungen des Schmelzes).

2. Dentin: Die unterschiedliche Verteilung der Dentinkanälchen im Längs- und Querschliff ist verfolgbar. Besonders gut läßt sich die Schmelz-Dentingrenze beobachten. Ihre wahre Gestalt kann mit Replica-Abdrücken sicherer erkannt werden als in Schliffpräparaten. Eine exakte Unterscheidung von Dentin und Sekundärdentin ist möglich, während Interglobulardentin nicht eindeutig zu erkennen ist und OWEN'sche Konturlinien sich ebenfalls nicht darstellen.

3. Zement: Während das zellfreie Zement ziemlich gleichmäßig der Wurzeloberfläche anliegt, zeigt das zellhaltige unterschiedliche Dicke. Beide Zementarten lassen sich deutlich voneinander abgrenzen. Gute Hilfe kann die Methode bei Untersuchungen der Schmelz-Zement-Grenze leisten.

4. Karies: Die Darstellung der erweichten Zone ist nur in beschränktem Ausmaß möglich; Strukturen lassen sich hier nicht erkennen. In der Schmelzkaries zeigt sich die Auflösung der regelmäßigen Prismenstruktur. Die Ausbreitung im Längsschliff wird durch die Para- und Diazonien mitbestimmt. Die Dentinkaries breitet sich im Verlauf der Dentinkanälchen aus. Diese sind erwei-

tert. - Die Beobachtungen kariöser Prozesse im Oberflächenabdruck lassen weitere Schlußfolgerungen bezüglich derzeit strittiger wissenschaftlicher Fragen zu.

5. Füllungen: Struktur, Dichtigkeit und Randständigkeit verschiedener Füllmaterialien in situ können mit Hilfe der Replica-Technik eindeutig beobachtet und beurteilt werden.

VI. LITERATUR-VERZEICHNIS

Atkinson, H.F.: "A Section Cutting-Machine" Brit. Dent. J. 84, 260 ff, (1948)

Balle, D.: "Mikrohärtemessungen im gesunden und kariösen Milchzahnschmelz" Med. Diss. Tübingen, 1962

Büttner, W.: "Apparat zur Herstellung unentkalkter Serienschnitte menschlicher Zähne" Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 1068 ff (1956)

Fosse, G.: "The Numbre of Prism Bases on the inner and outer Surface of the Enamel Mantle of human Teeth" J. dent. Res. 43, 57-63 (1964)

Frank, R.: "Etudes sur l'infrastructure microscopique de l'email et sur la surface libre coronaire de la dent" Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 60, 1109-1121 (1950)

Freiberg, K.: "Über die Gestalt der Schmelzsäulen" Z. Zellf. 29 (1939)

Gustafson, A.G.: "A morphologie investigation of certain variations in the structure and mineralisation of human dental enamel" Malmö 1959, Berlingska S. 43 ff

Gustafson, G.: "The histopathologie of caries of human dental enamel" Acta odont. Scand. 15, 13 ff (1957)

Hallèn, O. u. Röckert, H.: "The Preparation of Plane Parallel Sections of Desired Thickness of Mineralized Tissues" Odont. Tskr. 3 (1960)

Helmcke, J.G.: "Atlas des menschlichen Zahnes im elektronenmikroskopischen Bild 1. Teil" Berlin 1953

Helmcke, J.G.: "Elektronenmikroskopische Strukturuntersuchungen an gesunden und kranken Zähnen" Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1461 ff (1955)

Heuser, H.: "Oberflächenhistologische Untersuchungen zur pathologischen Physiologie der chronischen Karies" Zahnärztl. W. 22, 498-504 (1952)

Heuser, H.: "Das Initialstadium der Karies, vom oberflächenhistologischen Standpunkt aus gesehen" Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 1187-1197 (1952)

Heuser, H.: "Oberflächenhistologische Untersuchungen über die Größe der Schmelzprismen in den einzelnen Schmelzschichten am menschlichen Zahn" Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 705-711 (1956)

Heuser, H., Pantke, H. u. H. Schmidt: "Oberflächenhistologische Untersuchungen über den Verlauf der Schmelzprismen am menschlichen Zahn" Stoma 13, 37-61 (1960)

Heuser, H. u. H. Pantke: "Oberflächenhistologische Untersuchungen an jungsteinzeitlichen Zähnen" Stoma 14, 25-37 (1961)

Heuser, H. u. H.F.M. Schmidt: "Untersuchungen über die verschiedene Widerstandsfähigkeit der einzelnen lichtmikroskopischen Strukturbestandteile des menschlichen Zahnschmelzes gegenüber Säuren" Stoma 15 1-10 (1962)

Höhling, H.J. u. R. Erwig: "Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen am kompakten nicht vorbehandelten Zahnschmelz" Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 1193-1201 (1960)

Höhling, H.J.: "Elektronenmikroskopische Untersuchungen am Zahnschmelz und Dentin" Dtsch. Zahnärztebl. 15, 119-124 (1961)

Höhling, H.J.: "Elektronenmikroskopische Untersuchungen am gesunden und kariösen Zahnschmelz unter besonderer Berücksichtigung der Ultramikrotomschnitt-Technik an nichtmineralisierter Substanz" Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 694-705 (1961)

Jansen, M.T.: "Serial Sections of Undecalcified Enamel" J. dent. Res. 25, 355 ff (1946)

Jansen, M.T.: "An Improved Method for Preparing "Serial" Sections of undecalcified Tissues" J. dent. Res. 29, 401 ff, (1950)

Klaus, H.D.: "Der Kavitätenrand unter besonderer Berücksichtigung des Verlaufes der Schmelz-Prismen und der Verwendung normal- sowie höchsttouriger Bohrer" Med. Diss. Tübingen 1964

Lefkowitz, W.: "A Sectioning and Planing Machine for Plano-Parallel Tooth-Sections" J. dent. Res. 20, 77 ff, (1941)

Lenz, H.: "Elektronenmikroskopischer Nachweis der Dentinveränderungen durch Karies" Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 22, 24-33 (1955)

Lenz, H.: "Elektronenmikroskopische Untersuchungen am normalen Schmelz" Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 1371 ff (1956)

Meyer, W.: "Normale Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen" München 1951, C. Hanser-Verlag

Meyer, W.: "Die Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde" Ein Handbuch für die zahnärztliche Praxis, Band I, Pathologie der Zähne München-Berlin 1958, Verlag Urban & Schwarzenberg

Müller, G. u. A. Schait: "Morphologic Differences in Replicas of Intact Enamel Decalcified in Acid or EDTA"
Hel. Odont. Acta Vol 1 (1957)

Pantke, H.: "Die Replica-Technik"
Stoma 9, 86 ff (1956)

Pantke, H.: "Untersuchungen über RETZIUS-Streifen und Perikymatien"
Stoma 1, 32-39 (1957)

Pantke, H.: "Das Zahnschmelzoberhäutchen im oberflächenhistologischen Bild"
Stoma 2, 59-65 (1959)

Preiswerk, G.: "Lehrbuch und Atlas der Zahnheilkunde 2. Aufl.
München 1908, S. 68, J.F. Lehmann

Reich, P.: "Das irreguläre Dentin der Gebrauchsperiode"
Marburg 1906, Selbstverlag

Schäfer, I.: "Untersuchungen über das Schmelzoberhäutchen mit besonderer Berücksichtigung der Initialen Karies"
Med. Diss. Tübingen, noch nicht veröffentlicht

Schmidt, W.J. u. A. Keil: "Die gesunden und die erkrankten Zahngewebe des Menschen und der Wirbeltiere im Polarisationsmikroskop"
München 1958, Carl-Hanser-Verlag

Schüle, H.: "Das Schmelzoberhäutchen"
Stuttgart 1962, Georg-Thieme-Verlag

Siehl, A.: "Verbesserte Methode zur Herstellung von Serienschliffen"
Paläontologische Zeitschrift 36 268-274 (1962)

Wannenmacher, E.: "Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde, Zahnerhaltungskunde", Bd. II, 3. Aufl.
Leipzig 1963, J. Ambr. Barth-Verlag

Weinreb, M.M. and M. Tagger: "Methods of Preparing Stained Ground Sections of soft and hard Tissues"
J.dent.Res. 39, 990 ff, (1960)

Wolf, J.: "Über die Herstellung mikroskopischer Präparate der Oberflächen verschiedener Objekte mit Hilfe der Adhäsionsmethode"
Z. f. wiss. Mikroskopie 2 (1939)

Wolf, J.: "Plastische Histologie der Zahngewebe I, II u. III"
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 7, 265-284, 507-538, 678-690 (1940)

Wolf, J.: "Der Einfluß der Ameloblastenverschiebungen auf die Gestalt und den Verlauf der Schmelzprismen"
Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 9, 488-521 (1942)

BILDMATERIAL

Abb. 6 Triafolabdruck von einem Sagittalschliff 6+, Vergrößerung 1 : 60
Schmelz: Im Schmelz tritt die HUNTER-SCHREGER'sche Streifung (Para- und Diazonien) von der Schmelz-Dentingrenze (links unten) bogenförmig zur Oberfläche hin verlaufend hervor. Nahezu senkrecht dazu sind in der Mitte der Schmelzschicht Anlagerungslinien des Schmelzes (RETZIUS-Streifen) erkennbar.

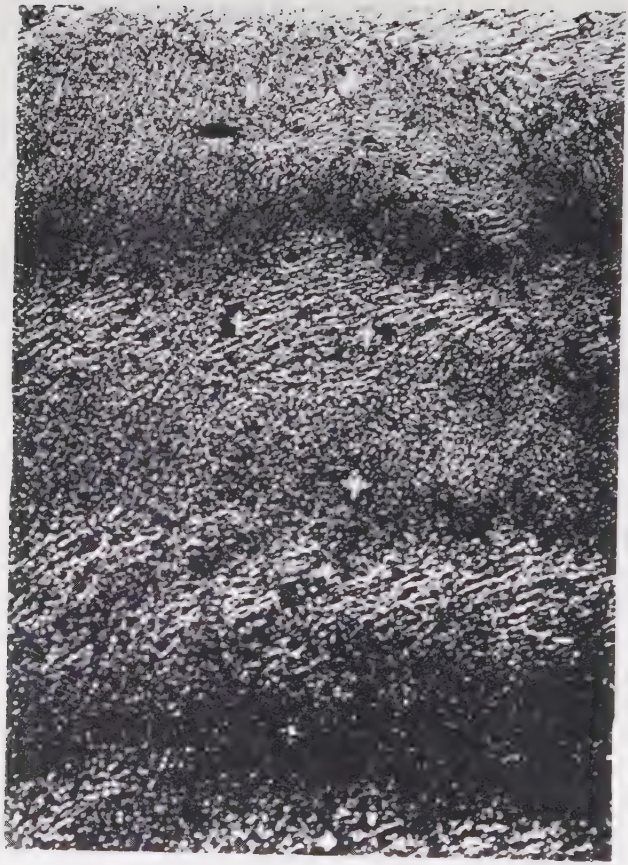

Abb. 2: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff, Vergrößerung 1 : 180
Schmelz: Vergrößerter Ausschnitt aus dem Bereich der Para- und Diazonien des Schmelzes mit Eindrücken eines Vickers-Diamanten zur Härtemessung auf dem Zahnschliff. Die Schmelzprismen sind an der Schliffoberfläche zonenweise quer-, schräg oder längsgeschnitten und verursachen so das Bild der Para- und Diazonien.

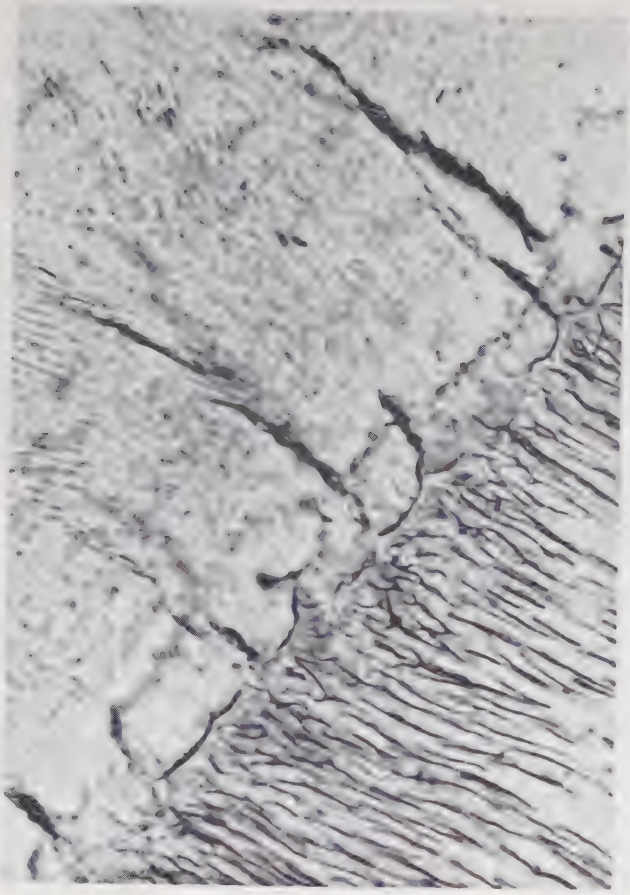

Abb. 3: Dünnschliff (ca. 20 µ) von einem Querschliff +7, Vergrößerung 1 : 180
Schmelz-Dentingrenze
Büschelbilder des Schmelzes, Dentinkanälchen mit und ohne Aufgabelungen. SD-Grenze als optischer Summationseffekt der von der Dicke des Schliffpräparates abhängigen Grenzfläche.

Abb. 4: Triafolabdruck von einem Querschliff +7 (derselbe Bereich wie Abb. 3, jedoch seitenverkehrt), Vergrößerung 1: 180.
Schmelz-Dentingrenze
Wiedergabe der SD-Grenze im Gegensatz zu Abb. 3 nur in einer Ebene. Rechts Dentin, links Schmelz, einzelne "Halme" der Schmelzbüschelbilder, Ausbuchtungen und Verzahnungen der SD-Grenze; Schmelzprismen im Schrägschnitt (Arkadenform) (Mitte), Aufgabelung einzelner Dentinkanälchen.

Abb. 5: Triafolabdruck von einem Querschliff 3+, Vergrößerung 1 : 24
D e n t i n
Dunklere Zonen in der Nähe des Pulpenkavums (Mitte) durch die unterschiedliche Verteilung der Dentinkanälchen. Oben und unten: Schmelzdentingrenze.

Abb. 6: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff +V, Vergrößerung 1: 31,25
Fortgeschrittene Karies
In der Umgebung des kariösen Defektes zeichnet sich das kariös veränderte Dentin im Replica dunkler ab. Das Pulpakavum (unten) ist gegenüber der Karies durch massive Sekundärdentinschichten abgegrenzt. Bei den Rissen im Dentin (links unten und rechts oben) sowie im Schmelz (oben rechts) handelt es sich um Artefakte.

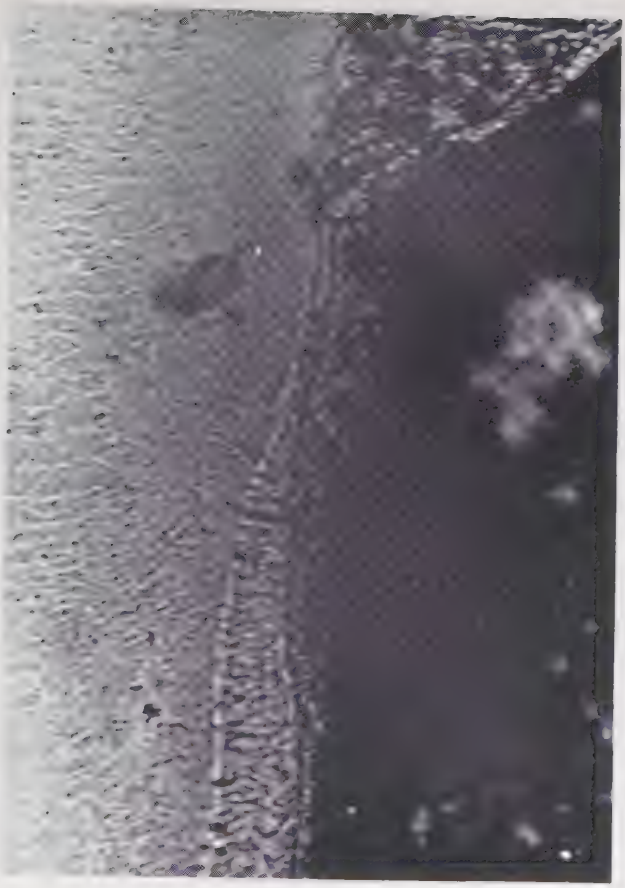

Abb. 7: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff 6+, Vergrößerung 1 : 126
Schmelz-Zement-Grenze
Links Dentin mit Wurzelzement (durch helle Grenzlinie voneinander getrennt), oben rechts Schmelzansatz. Wurzelzement und Schmelz berühren sich exakt ohne Entblößung von Dentin.

Abb. 8: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff 6+, Vergrößerung 1 : 320
W u r z e l z e m e n t
Rechts Dentin, durch helle Linie (am rechten Bildrand) getrennt vom zellfreien Zement (Mitte). Links davon (durch dunkle Linie getrennt) zellhaltiger Zement. Unterschiedliche Stärke beider Zementarten, Fibrillen im zellfreien Zement, Höhlen der ehemaligen Zementzellen im zellhaltigen Zement.

Abb. 9: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff +4,
Vergrößerung 1 : 24
Hyperzementose
Rechts Dentin mit Pulpakavum (Bildrand Mitte), links durch die dunkle Trennlinie vom Dentin abgegrenzt der zellhaltige Zement mit einer Hyperzementose. An ihrer Wölbung und unten rechts im Bild Luftblasen im Triafol-Abdruck.

Abb. 10: Triafolabdruck von einem Querschliff +7, Vergrößerung 1 : 78,5
Schmelzkaries
Oberflächlich (oben rechts) vom Schmelzoberhäutchen bedeckt ist die beginnende Schmelzkaries deutlich von gesundem Schmelz abgrenzbar. Schmelzlamelle (diagonal), Büschelbilder des Schmelzes an der SD-Grenze, links unten gesundes Dentin, links oben, an der Grenze vom gesunden zum kranken Schmelz, eine Luftblase im Abdruck.

Abb. 11: Dünnschliff (ca. 20 µ) von einem Querschliff +7 (derselbe Bereich wie Abb. 10, jedoch seitenverkehrt). Vergrößerung 1 : 78,5
Schmelzkaries
Man erkennt die gleichen histologischen Einzelheiten wie in Abb. 10.

Abb. 12: Triafolabdruck von einem Querschliff +7 (Ausschnitt von Abb. 10) Vergrößerung 1 : 320
Schmelzkaries
Oben: Unordnung und Auflösung der Prismenstruktur im Randgebiet der beginnenden Karies.
Links: Arkadenform der gesunden Schmelzprismen, diagonal von links unten nach rechts oben: Schmelzlamelle.

Abb. 13: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff -6, Vergrößerung 1 : 50,4
Schmelzkaries
Ausbreitung der Karies entlang der Para- und Diazonien, unten Mitte: RETZIUS-Streifung. Die helle Umrandung des kariösen Prozesses an seiner Innenseite stellt eine Zone verringerter Anätzbarkeit dar. An der Außenseite links unten: das Schmelzoberhäutchen über dem unversehrten Schmelz.

Abb. 14: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff +V, Vergrößerung 1 : 800.
Kariöses Dentin, Erweiterung und Ampullenform der affizierten Dentinkanälchen

Abb. 15: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff -6, Vergrößerung 1 : 20
A m a l g a m f ü l l u n g . Rechts oben Schmelz mit HUNTER-SCHREGER'scher Streifung, darunter Dentin. Unterschiedliche Kondensation des Amalgams, Randverhältnisse, Struktur der Unterfüllung (unten), Sekundärkaries rechts unten am Rand der Amalgamfüllung.

Abb. 16: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff +3, Vergrößerung 1 : 24
Wurzelfüllung
Silberstift nach REHRMANN (Mitte) Randverhältnisse des Ag-Stiftes im Wurzelkanal, unten liegt der Stift nicht mehr an, weil der Zahn nicht exakt parallel durch den Silberstift geschliffen wurde. Am Rande des Silberstiftes dünne Phosphatzementschicht.

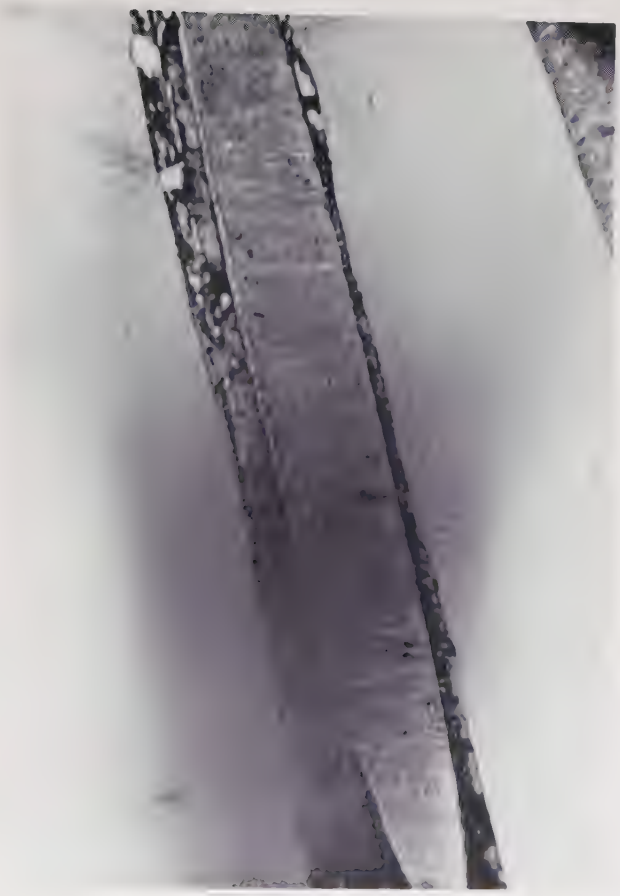

Abb. 17: Triafolabdruck von einem Sagittalschliff +3, Vergrößerung 1 : 24
Wurzelfüllung
Riebler-Wurzelfüllmasse mit Guttapercha-spitze. Randverhältnisse und Porenbildung (oben rechts). Gutes Anliegen der Riebler-Masse am Guttaperchastift (in der Mitte des Wurzelkanals) und an den Wurzelkanalwänden.

Herrn Professor Dr. A. Kröncke danke ich für die Überlassung des Themas und für seine Anleitung bei der Arbeit.

Herrn Dr. D. Schumann und Herrn F. Knopf aus dem Paläontologischen Institut der Universität Tübingen verdanke ich wertvolle technische Hinweise.

Lebenslauf

Am 30. 10. 1938 wurde ich, Wolfgang Burkhardt, als erster Sohn des Zahnarztes Dr. Johannes Burkhardt und seiner Ehefrau Erika, geb. Wolgast, in Meißen (Elbe) geboren.

Im Herbst 1944 kam ich zur Grundschule, die ich in Meißen mit kurzen Unterbrechungen durch die Wirren des Kriegsendes bis zu unserer Umsiedlung nach Hamburg 1950 besuchte. Dort kam ich Ostern 1951 zur Oberschule und bestand das Abitur des altsprachlichen Zweiges im Gymnasium für Jungen 1958.

Im Sommer-Semester 1958 begann ich mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Johannes-Gutenberg Universität zu Mainz, wo ich nach dem Sommer-Semester 1960 das zahnärztliche Physikum ablegte. Nach einem weiteren Semester in Mainz setzte ich mein Studium an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen fort und bestand hier im Sommer-Semester 1963 mein zahnärztliches Staatsexamen.

Am 25. Juni 1963 erhielt ich meine Approbation als Zahnarzt. Seit dem 1. Oktober 1963 bin ich Verwalter einer wissenschaftliche Assistentenstelle in der Konservierenden Abteilung des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen.